

Docket No.: 57454-248

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of

Shuji NAKAO , et al.

Serial No.:

Filed: November 07, 2001

For: FOCUS MONITORING METHOD, FOCUS MONITORING APPARATUS, AND
METHOD OF MAUFACTURING SEMICONDUCTOR DEVICE

:
:
:
:
: Group Art Unit:
:
: Examiner:
:



**CLAIM OF PRIORITY AND
TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT**

Commissioner for Patents
Washington, DC 20231

Sir:

In accordance with the provisions of 35 U.S.C. 119, Applicant hereby claims the priority of:

Japanese Patent Application Number 2001-191757, Filed June 25, 2001.

cited in the Declaration of the present application. A Certified copy is submitted herewith.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY

Gene Z. Robinson
Registration No. 33,351

600 13th Street, N.W.
Washington, DC 20005-3096
(202) 756-8000 GZR:kjw
Date: November 7, 2001
Facsimile: (202) 756-8087

57454-248

Shuji NAKAO et al
November 7, 2001

日 本 国 特 許
JAPAN PATENT OFFICE

Atty Dermott, Will & Emery

#3
11 Jan 02
P. Tall

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日
Date of Application:

2001年 6月25日

出 願 番 号
Application Number:

特願2001-191757

出 願 人
Applicant(s):

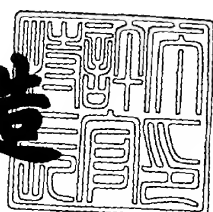
三菱電機株式会社



2001年 7月27日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3067236

【書類名】 特許願

【整理番号】 530748JP01

【特記事項】 特許法第 3 0 条第 1 項の規定の適用を受けようとする特
許出願

【提出日】 平成13年 6月25日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/027

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 三菱電機株式会
社内

 【氏名】 中尾 修治

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 三菱電機株式会
社内

 【氏名】 宮本 由紀

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 三菱電機株式会
社内

 【氏名】 玉田 尚久

【特許出願人】

 【識別番号】 000006013

 【氏名又は名称】 三菱電機株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100064746

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 深見 久郎

【選任した代理人】

 【識別番号】 100085132

 【弁理士】

【氏名又は名称】 森田 俊雄

【選任した代理人】

【識別番号】 100091409

【弁理士】

【氏名又は名称】 伊藤 英彦

【選任した代理人】

【識別番号】 100096781

【弁理士】

【氏名又は名称】 堀井 豊

【選任した代理人】

【識別番号】 100096792

【弁理士】

【氏名又は名称】 森下 八郎

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 008693

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 フォーカスモニタ方法およびフォーカスモニタ用装置ならびに半導体装置の製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 半導体装置のパターン形成に用いられるフォーカスモニタ方法であって、

照明アパチャーの開口形状を制御することで得られた非テレセントリックな照明をフォトマスクに照射し、前記照明により形成された前記フォトマスクのパターンの像が、結像面を光軸方向に移動したときに前記光軸と直角な方向に移動する特性を利用してフォーカスモニタを行なうことを特徴とする、フォーカスモニタ方法。

【請求項 2】 フォトレジストに、外側ボックスパターンと内側ボックスパターンとを有する二重ボックス型のマークパターンを転写し、前記フォトレジストに転写された前記外側ボックスパターンと前記内側ボックスパターンとの相互の位置ずれを検出することによりフォーカスモニタを行なうことを特徴とする、請求項 1 に記載のフォーカスモニタ方法。

【請求項 3】 前記外側ボックスパターンおよび前記内側ボックスパターンの少なくともいずれかの露光に、前記非テレセントリックな照明が用いられることを特徴とする、請求項 2 に記載のフォーカスモニタ方法。

【請求項 4】 前記外側ボックスパターンおよび前記内側ボックスパターンの双方の露光に前記非テレセントリックな照明が用いられ、

前記外側ボックスパターンの露光時には、子午面を境界として一方側にのみ開口を有する第 1 の照明アパチャーが用いられ、

前記内側ボックスパターンの露光時には、子午面を境界として他方側にのみ開口を有する第 2 の照明アパチャーが用いられることを特徴とする、請求項 3 に記載のフォーカスモニタ方法。

【請求項 5】 前記第 1 の照明アパチャーには、円形照明絞り、輪帯照明絞りおよび 4 重極照明絞りのいずれか 1 つであって、子午面を境界として一方側にのみ開口を残した絞りが用いられ、

前記第 2 の照明アパチャーには、円形照明絞り、輪帯照明絞りおよび 4 重極照明絞りいずれか 1 つであって、子午面を境界として他方側にのみ開口を残した絞りが用いられることを特徴とする、請求項 4 に記載のフォーカスモニタ方法。

【請求項 6】 前記外側ボックスパターンおよび前記内側ボックスパターンのいずれか一方を前記フォトレジストに露光する第 1 の露光工程と、

前記外側ボックスパターンおよび前記内側ボックスパターンのいずれか他方を前記フォトレジストに露光する第 2 の露光工程と、

前記第 1 および第 2 の露光工程後に前記フォトレジストを現像する工程とを備えた、請求項 2 ～ 5 のいずれかに記載のフォーカスモニタ方法。

【請求項 7】 前記外側ボックスパターンおよび前記内側ボックスパターンのいずれか一方を前記フォトレジストに露光する第 1 の露光工程と、

前記第 1 の露光工程後に前記フォトレジストを現像する第 1 の現像工程と、

前記第 1 の現像工程後に、前記外側ボックスパターンおよび前記内側ボックスパターンのいずれか他方を前記フォトレジストに露光する第 2 の露光工程と、

前記第 2 の露光工程後に前記フォトレジストを現像する第 2 の現像工程とを備えた、請求項 2 ～ 5 のいずれかに記載のフォーカスモニタ方法。

【請求項 8】 半導体装置のパターン形成に用いられるフォーカスモニタ用装置であって、

パターンが形成されたフォトマスクを露光光で照明するための照明光学系と、

前記フォトマスクのパターンの像を感光体上に投影する投影光学系とを備え、

前記照明光学系に含まれる照明アパチャーの開口形状を制御することで得られた非テレセントリックな照明を前記フォトマスクに照射することによって形成された前記フォトマスクのパターンの像が、結像面を光軸方向に移動したときに前記光軸と直角な方向に移動するよう構成されたことを特徴とする、フォーカスモニタ用装置。

【請求項 9】 請求項 1 ～ 7 のいずれかに記載のフォーカスモニタ方法を用いたことを特徴する、半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

本発明は、フォーカスモニタ方法およびフォーカスモニタ用装置ならびに半導体装置の製造方法に関し、より具体的には、半導体装置のパターン形成に用いられるフォーカスモニタ方法およびフォーカスモニタ用装置ならびに半導体装置の製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

近年、半導体集積回路における高集積化および微細化には目覚ましいものがある。それに伴い、半導体基板（以下、単にウェハと称する）上に形成される回路パターンの微細化も急速に進んできている。

【0003】

中でも、フォトリソグラフィ技術がパターン形成における基本技術として広く認識されるところである。よって、今日までに種々の開発、改良がなされてきている。しかし、パターンの微細化はとどまるところを知らず、パターンの解像度向上への要求もさらに強いものとなってきた。

【0004】

このフォトリソグラフィ技術とは、ウェハ上に塗布されたフォトレジストにフォトマスク（原画）上のパターンを転写し、その転写されたフォトレジストを用いて下層の被エッチング膜をパターンニングする技術である。

【0005】

このフォトレジストの転写時においては、フォトレジストに現像処理が施されるが、この現像処理によって光の当たった部分のフォトレジストが除去されるタイプをポジ型、光の当たらない部分のフォトレジストが除去されるタイプをネガ型のフォトレジストという。

【0006】

一般に、縮小露光方法を用いたフォトリソグラフィ技術における解像限界 R (nm) は、

$$R = k_1 \cdot \lambda / (NA)$$

と表わされる。ここで、 λ は使用する光の波長 (nm)、 NA はレンズの投影光

光学系の開口数、 k_1 はレジストプロセスに依存する定数である。

【0007】

上式からわかるように、解像限界Rの向上を図るためには、すなわち微細パターンを得るためには、 k_1 と λ との値を小さくし、NAの値を大きくする方法が考えられる。つまり、レジストプロセスに依存する定数を小さくするとともに、短波長化や高NA化を進めればよいのである。

【0008】

しかし、光源やレンズの改良は技術的に難しく、また短波長化および高NA化を進めることによって、光の焦点深度 δ ($\delta = k_2 \cdot \lambda / (NA)^2$) が浅くなり、かえって解像度の低下を招くといった問題も出てくる。

【0009】

係るフォトリソグラフィ技術において、フォトマスクのパターンを高い解像度でフォトレジストに露光するには、そのフォトレジストを投影光学系の最良結像面（ベストフォーカス面）に対して焦点深度の範囲内で合致させた状態で露光を行なう必要がある。そのためには、何らかの方法で投影光学系のベストフォーカス面の位置、すなわちベストフォーカス位置を求める必要がある。

【0010】

従来のベストフォーカス位置を計測するためのフォーカスモニタとして、たとえばIBM社のBrunnerにより開発され、米 Benchmark Technology社より販売されている位相シフトフォーカスモニタがある。

【0011】

図19は、位相シフトフォーカスモニタ方法を説明するための図である。図19を参照して、この位相シフトフォーカスモニタ方法では、位相シフトマスク105が用いられる。この位相シフトマスク105は、透明基板105aと、所定のパターンを有する遮光膜105bと、その所定のパターン上に形成された位相シフタ105cとを有している。

【0012】

この位相シフトマスク105は、具体的には図20に示すように、十分に太い透過部105dと105eとの間に細い遮光パターンを配置したパターンを有し

ている。なお、透過部 1 0 5 d には位相シフタ 1 0 5 c は配置されておらず、透過部 1 0 5 e には位相シフタ 1 0 5 c が配置されている。

【 0 0 1 3 】

この位相シフトフォーカスモニタ方法では、まず位相シフトマスク 1 0 5 に光が照射される。このとき、位相シフタ 1 0 5 c が透過光の位相を 90° シフトさせるように構成されているため、透過部 1 0 5 e を透過した光が透過部 1 0 5 d を透過した光よりも光路差で $1/4\lambda$ 、 $5/4\lambda$ 、…だけ先に行く場合、または $3/4\lambda$ 、 $7/4\lambda$ 、…だけ後に行く場合に、互いの光が相互に強め合う。これにより、位相シフトマスク 1 0 5 を透過した後の光は、z 軸（光軸）に対して非対称の強度分布を有することになる。この位相シフトマスク 1 0 5 を透過した光は、投影レンズ 1 1 9 a、1 1 9 b により集光されて、半導体基板 1 2 1 a 上のフォトレジスト 1 2 1 b に結像する。

【 0 0 1 4 】

この位相シフトフォーカスモニタによれば、回折光の強度分布が z 軸に対して非対称の状態でフォトレジスト 1 2 1 b に結像される。このため、ウェハ 1 2 1 の z 方向の移動により、ウェハ 1 2 1 でのパターンの像が z 軸（図中縦方向）と直角な方向（x-y 方向：図中横方向）に移動していくことになる。この x-y 方向へのパターンの像の移動量を測定することにより、z 方向の位置の測定、つまりフォーカスの測定が可能となる。

【 0 0 1 5 】

また上記の位相シフトフォーカスモニタ以外に、フォーカスモニタ方法として、たとえば特開平 6-120116 号公報に開示された方法もある。この方法では、まずフォトマスク表面の所定のパターンを、主光線が第 1 の傾斜角の露光光で照明することにより、所定のパターンの第 1 の像が感光体基板上に露光される。この後、上記所定のパターンを、主光線が第 1 の傾斜角とは異なる第 2 の傾斜角の露光光で照明することにより、所定のパターンの第 2 の像が感光体基板上に露光される。露光された第 1 の像と第 2 の像との間隔を計測することにより、この間隔とデフォーカス量との関係から、感光体基板の位置から最良結像面までの間隔が求められる。

【0016】

この方法では、フォトマスク表面の所定のパターンを第1の傾斜角または第2の傾斜角で照明するために、図21に示すような構成のフォトマスク205が用いられる。

【0017】

図21を参照して、このフォトマスク205は、透明基板205aと、その透明基板205aの表面に形成された位置計測用マーク205b₁、205b₂と、透明基板205aの裏面に形成された回折格子パターン205cとを有している。つまり、フォトマスク205に入射した露光光は、回折格子パターン205cで回折されることにより位置計測用マーク205b₁を第1の傾斜角で照明し、また位置計測用マーク205b₂を第2の傾斜角で照明する。

【0018】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上述した位相シフトフォーカスモニタでは、フォトマスク105として特殊な構造の位相シフトマスクを用いる必要がある。このように特殊な構造のフォトマスクが必要であるため、フォトマスクが高価になるという問題点があった。

【0019】

また特開平6-120116号公報に開示されている方法では、フォトマスクの裏面に微細な回折格子パターン205cを形成する必要がある、その形成に多くの工程が必要となる。このため、マスクの製造コストが大幅に上昇するという問題点があった。

【0020】

また、現状のマスク作製技術では、マスク基板の両面に相互の位置関係を精密に保ってパターンを形成することは極めて困難である。両面のパターンが相互に望ましい位置関係からずれたときには、位置計測用マーク205b₁、205b₂が所望の角度の回折光により照明されず、フォーカスを正確に計測することが困難になるという問題がある。

【0021】

また、フォトマスク 2 0 5 裏面の回折格子パターン 2 0 5 c の存在する部分のみを露光光で照明する必要があり、照明範囲を狭い一部分に絞らねばならないという問題もあった。

【 0 0 2 2 】

それゆえ本発明の目的は、特殊なフォトマスクを不要とすることで、安価でかつ精度の高いフォーカスモニタを可能とするフォーカスモニタ方法およびフォーカスモニタ用装置ならびに半導体装置の製造方法を提供することである。

【 0 0 2 3 】

【課題を解決するための手段】

本発明のフォーカスモニタ方法は、半導体装置のパターン形成に用いられるフォーカスモニタ方法であって、照明アパチャーの開口形状を制御することで得られた非テレセントリックな照明をフォトマスクに照射し、照明により形成されたフォトマスクのパターンの像が、結像面を光軸方向に移動したときに光軸と直角な方向に移動する特性を利用してフォーカスモニタを行なうことを特徴とするものである。

【 0 0 2 4 】

本発明のフォーカスモニタ方法では、非テレセントリックな照明をフォーカスモニタに照明することで、結像面を光軸方向に移動したときに光軸と直角な方向にフォトマスクのパターンの像が移動する特性を発現させるものである。この非テレセントリックな照明は、照明アパチャーの開口形状を制御することで容易に得ることができるため、フォトマスクに特殊な構成を用いる必要はない。よって、安価でかつ精度の高いフォーカスモニタが可能となる。

【 0 0 2 5 】

上記フォーカスモニタ方法において好ましくは、フォトレジストに、外側ボックスパターンと内側ボックスパターンとを有する二重ボックス型のマークパターンが転写され、フォトレジストに転写され記外側ボックスパターンと内側ボックスパターンとの相互の位置ずれを検出することによりフォーカスモニタを行なわれる。

【 0 0 2 6 】

二重ボックス型のマークパターンを用いることで、結像面内の位置ずれからフォーカスずれを検出することができる。

【0027】

上記のフォーカスモニタ方法において好ましくは、外側ボックスパターンおよび内側ボックスパターンの少なくともいずれかの露光に、非テレセントリックな照明が用いられる。

【0028】

これにより、フォーカスがずれたときに結像面内でパターンの像の位置ずれが起こるため、フォーカスずれを検出することができる。

【0029】

上記のフォーカスモニタ方法において好ましくは、外側ボックスパターンおよび内側ボックスパターンの双方の露光に非テレセントリックな照明が用いられ、外側ボックスパターンの露光時には、子午面を境界として一方側にのみ開口を有する第1の照明アパチャーが用いられ、内側ボックスパターンの露光時には、子午面を境界として他方側にのみ開口を有する第2の照明アパチャーが用いられる。

【0030】

これにより、フォーカスがずれたときに外側ボックスパターンの像と内側ボックスパターンの像とが互いに逆方向に移動するため、検出感度が向上する。

【0031】

上記のフォーカスモニタ方法において好ましくは、第1の照明アパチャーには、円形照明絞り、輪帯照明絞りおよび4重極照明絞りのいずれか1つであって、子午面を境界として一方側にのみ開口を残した絞りが用いられる。第2の照明アパチャーには、円形照明絞り、輪帯照明絞りおよび4重極照明絞りのいずれか1つであって、子午面を境界として他方側にのみ開口を残した絞りが用いられる。

【0032】

これにより、照明アパチャーとして各種絞りをを用いることができる。

上記のフォーカスモニタ方法において好ましくは、外側ボックスパターンおよび内側ボックスパターンのいずれか一方をフォトレジストに露光する第1の露光

工程と、外側ボックスパターンおよび内側ボックスパターンのいずれか他方をフォトレジストに露光する第2の露光工程と、第1および第2の露光工程後にフォトレジストを現像する工程とを備えられている。

【0033】

このように二重露光した後に現像して二重ボックス型のマークパターンを形成することができる。

【0034】

上記のフォーカスモニタ方法において好ましくは、外側ボックスパターンおよび内側ボックスパターンのいずれか一方をフォトレジストに露光する第1の露光工程と、第1の露光工程後にフォトレジストを現像する第1の現像工程と、第1の現像工程後に外側ボックスパターンおよび内側ボックスパターンのいずれか他方をフォトレジストに露光する第2の露光工程と、第2の露光工程後にフォトレジストを現像する第2の現像工程とが備えられている。

【0035】

このように露光と現像とを2回繰返すことにより二重ボックス型のマークパターンを形成することができる。

【0036】

本発明のフォーカスモニタ用装置は、半導体装置のパターン形成に用いられるフォーカスモニタ用装置であって、パターンが形成されたフォトマスクを露光光で照明するための照明光学系と、フォトマスクのパターンの像を感光体上に投影する投影光学系とを備え、照明光学系に含まれる照明アパチャーの開口形状を制御することで得られた非テレセントリックな照明をフォトマスクに照射することによって形成されたフォトマスクのパターンの像が、結像面を光軸方向に移動したときに光軸と直角な方向に移動するよう構成されたことを特徴とするものである。

【0037】

本発明のフォーカスモニタ用装置では、非テレセントリックな照明をフォトマスクに照明することで、結像面を光軸方向に移動したときに光軸と直角な方向にパターンの像が移動するような特性を発現するよう構成されている。この非テレ

セントリックな照明は、照明アパチャーの開口形状を制御することで容易に得ることができるため、フォトマスクに特殊な構成を用いる必要はない。よって、安価でかつ精度の高いフォーカスモニタが可能となる。

【 0 0 3 8 】

本発明の半導体装置の製造方法は、上記のフォーカスモニタ方法のいずれかを用いることを特徴とするものである。

【 0 0 3 9 】

これにより、特殊なフォトマスクを不要とすることで、安価でかつ精度の高いフォーカスモニタが可能となるため、安価で、かつ高い精度でパターンを形成することができる。

【 0 0 4 0 】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について図に基づいて説明する。

【 0 0 4 1 】

（実施の形態 1）

図 1 は、本発明の実施の形態 1 におけるフォーカスモニタ方法を説明するための模式図であり、状況をわかりやすくするため斜めのある 1 方向からのみ照明光が入射する場合を示している。

【 0 0 4 2 】

図 1 を参照して、非テレセントリックな照明、たとえば主光線が照明光学系の光軸に対して傾斜した照明光が、フォトマスク 5 に入射する。このフォトマスク 5 のパターン 5 b により回折された照明光は、投影レンズ 19 a、19 b により集光されて、ウェハ 21 上に像を結ぶ。

【 0 0 4 3 】

ウェハ 21 上の光線配置からわかるように、ウェハ 21 上のパターンの像は、照明光の斜め方向からの入射により形成される。このため、このパターンの像は、ウェハ 21 を z 方向（光軸方向）に移動させてパターンの像の焦点をずらせると、同時にウェハ 21 の面内において横方向（x-y 方向）にも移動する。

【 0 0 4 4 】

なお、通常の半導体装置のパターン転写では、照明は必ず照明光学系および投影光学系の光軸方向に対してほぼ軸対称となるように形成されるため（1本の入射光線を考えたとき、必ずその軸対称の光線も存在するように形成されるため）、このようなフォーカス移動に伴う像の横移動は十分小さくなるようにされている。

【0045】

上記の非テレセントリックな照明により形成されたパターンの像が、ウェハ21のフォトレジスト21bにレジストパターンとして形成される。このパターンと、別の照明により形成した像による他のパターンとの相対的な位置関係を計測することで、そのパターンが転写されたときのフォーカスずれを検出することが可能となる。

【0046】

本願において「非テレセントリックな照明」とは、テレセントリックな照明（同軸落射照明）ではない照明を意味し、具体的には、照明光の強度分布が照明光学系の光軸に対して非対称な照明（照明光の強度分布における重心が光軸から外れた照明）を意味する。

【0047】

本実施の形態におけるフォーカスモニタ方法は、たとえば図2および図3に示す装置により実現することができる。

【0048】

図2は本発明の実施の形態1におけるフォーカスモニタ方法を実施するためのフォーカスモニタ用装置の構成を示す概略図であり、図3は図2のフォーカスモニタ用装置に用いられる照明アパチャーの構成を示す平面図である。

【0049】

図2を参照して、このフォーカスモニタ用装置は、縮小投影露光装置（ステップ）と同様の構成を有し、かつフォトマスク5上のパターンを縮小してウェハ21表面のフォトレジスト（感光体）21bに投射するものである。このフォーカスモニタ用装置は、光源11からフォトマスク5のパターンまでの照明光学系と、フォトマスク5のパターンからウェハ21までの投影光学系とを有している。

【0050】

照明光学系は、光源である水銀ランプ11と、反射鏡12と、集光レンズ18と、フライアイレンズ13と、絞り14と、集光レンズ16a、16b、16cと、ブラインド絞り15と、反射鏡17とを有している。また投影光学系は投影レンズ19a、19bと、瞳面絞り25とを有している。

【0051】

その露光動作においては、まず水銀ランプ11から発せられた光11aは、反射鏡12により、たとえばg線（波長：436nm）のみが反射されて、短波長の光となる。次に、光11aは、集光レンズ18を通過して、フライアイレンズ13の各フライアイ構成レンズ13aの各々に入射し、その後に絞り14を通過する。

【0052】

ここで、光11bは、1個のフライアイ構成レンズ13aによって作り出された光路を示し、光11cはフライアイレンズ13によって作り出される光路を示している。

【0053】

絞り14を通過した光11aは、集光レンズ16a、ブラインド絞り15および集光レンズ16bを通過して、反射鏡17により所定角度で反射される。

【0054】

反射鏡17により反射された光11aは、集光レンズ16cを透過した後、所定のパターンが形成されたフォトマスク5の全面を均一に照射する。この後、光11aは投影レンズ19a、19bにより所定の倍率に縮小され、半導体基板21a上のフォトリジスト21bを露光する。

【0055】

図3を参照して、上記のフォーカスモニタ用装置において、非テレセントリックな照明を得るために、ステッパの二次光源面上に設置される照明アパチャー14Aの開口14aの形状が工夫されている。

【0056】

通常のステッパで現実的な露光時間で露光を行なうためには、照明アパチャー

に一定以上の大きさの開口を設ける必要がある。本実施の形態の照明アパチャー 1 4 A では、 σ (coherency) = 0. 3 対応の大きさの開口 1 4 a が $\sigma = 0. 5$ の円上に中心が来るように設けられている。この照明アパチャー 1 4 A は、図 2 の絞り 1 4 として用いられてもよく、またレンズ 1 6 a、1 6 b、1 6 c として用いられてもよい。

【0 0 5 7】

次に、本実施の形態における具体的なフォーカスモニタ方法について説明する。

【0 0 5 8】

図 4 および図 5 は、1 回目および 2 回目の露光に用いられるフォトマスクのパターンを平面的に示す図である。また図 6 は、本発明の実施の形態 1 における具体的なフォーカスモニタ方法での露光工程を示す図である。

【0 0 5 9】

本実施の形態のフォーカスモニタ方法においては、二重ボックス型のマークパターンをフォトレジストに形成するため、2 回の露光が行なわれる。1 回目の露光は、図 4 に示すように透明基板 5 a₁ 表面に略四角形の遮光パターン 5 a₂ を有するフォトマスク 5 A を図 2 のフォトマスク 5 として用い、このフォトマスク 5 A を非テレセントリックな照明（偏芯照明）で照射することで行われる。この 1 回目の露光により、図 6 (a) に示すように遮光パターン 5 a₂ に対応する領域以外においてフォトレジスト 2 1 b が露光される。

【0 0 6 0】

この後、図 2 においてウェハ 2 1 をウェハチャック（図示せず）に保持したままで、図 3 に示す照明アパチャー 1 4 A を光軸対称の常用のものと交換して、2 回目の露光が行われる。光軸対象の常用の照明アパチャーとして、本実施の形態においてはたとえば輪帯照明 ($\sigma_{out} = 0. 8 5$ 、 $\sigma_{in} = 0. 5 7$) が用いられる。

【0 0 6 1】

2 回目の露光は、図 5 に示すように透明基板 5 b₁ 表面に略四角形の枠状の遮光パターン 5 b₂ を有するフォトマスク 5 B を図 2 のフォトマスク 5 として用い

、このフォトマスク 5 B を通常の照明で照射することで行われる。この 2 回目の露光では、1 回目の露光パターンと正確に重ね合わせられるように、1 回目の露光パターンと 2 回目の露光パターンとの中心が一致するようにして、適当な露光量で露光が行われる。この 2 回目の露光により、図 6 (b) に示すように遮光パターン 5 b₂ に対応する領域以外においてフォトレジスト 2 1 b が露光される。

【0 0 6 2】

この後、フォトレジスト 2 1 b が現像される。この現像において、フォトレジスト 2 1 b がポジ型の場合には、露光光の照射された領域だけが除去されて、図 7 (a), (b) に示すような二重ボックス型 (box in box 型) のレジストパターン 2 1 b が形成される。

【0 0 6 3】

ここで、1 回目の露光を非テレセントリックな照明により行なっているため、露光時のフォーカスずれがある場合には、外側ボックスパターン 2 1 b₁ が x-y の面内で移動することになる。一方、2 回目の露光は通常照明により行なっているため、露光時のフォーカスずれがあっても、内側ボックスパターン 2 1 b₂ は x-y の面内で移動しない。このため、フォーカスずれがある場合には、外側ボックスパターン 2 1 b₁ は内側ボックスパターン 2 1 b₂ に対して位置ずれ (横方向移動) を生じることになる。

【0 0 6 4】

なお、図 7 (b) 中ではベストフォーカスでの外側ボックスパターン 2 1 b₁ の位置を点線で示しており、フォーカスずれのある状態での外側ボックスパターン 2 1 b₁ の位置を実線で示している。

【0 0 6 5】

図 8 に、非テレセントリックな照明を用いた 1 回目の露光により形成される外側ボックスパターン 2 1 b₁ のフォーカスずれによる横方向への移動量を、光学像計算により求めた結果を示す。図 8 より、外側ボックスパターン 2 1 b₁ の横移動量は、フォーカスずれ量の変化に対してほぼ直線的に変化することがわかる。

【0 0 6 6】

図 7 を参照して、次に内側ボックスパターン $21b_2$ と外側ボックスパターン $21b_1$ との間隔 x_1 、 x_2 が測定される。それらの値からベストフォーカスでの内側ボックスパターンと外側ボックスパターンとの間隔 x_3 ($= (x_1 + x_2) / 2$) が求められる。間隔 x_3 と x_1 または x_2 との差を求めることで外側ボックスパターン $21b_1$ の横移動量 (位置ずれ量) を知ることができる。この横移動量を、図 8 に示すような予め測定された横移動量とフォーカスとの関係に照らし合わせることで、フォーカスずれを検出することが可能となる。後は、このフォーカスずれに基づいて、ウェハ 21 の位置を調整することでベストフォーカスを得ることができる。

【0067】

次に、本実施の形態のフォーカスモニタ方法と従来の位相シフトフォーカスモニタ方法との検出感度について調べた。その結果を以下に示す。

【0068】

なお、ボックスパターン同士の相対移動の計測は、市販の重ね合わせ検査機により行なった。この検査機では繰返し再現性 2 nm での計測が可能である。

【0069】

まず、上述した本実施の形態のフォーカスモニタ方法において、市販のスキヤンステッパの複数のフィールドポイントでフォーカスを意図的にずらして 1 回目の露光をしたときに、そのフォーカスに対して上記のパターンの横移動量がどのように変化するかを複数のフィールドポイントの各々について調べた。その結果を図 9 に示す。

【0070】

図 9 の結果より、各フィールドポイント 1 ～ 7 において、ほぼ同じ特性が得られることがわかる。各ポイントの特性が同一でないのは、異なるフォーカスのデータが異なるショットから得られており、ウェハチャックにチャックされたウェハ表面の凸凹が各ショットごとに異なっていることが原因である。このため、同一のフォーカスに対して複数のショットで横移動量を計測し、これを平均すれば、上記のウェハ表面の凹凸の影響が相殺され、一定量のオフセットを除き同一の特性が得られる。

【0071】

また本実施の形態の方法により、市販のスキヤンステッパを用いてベアシリコンウェハ上に二重ボックス型のマークパターンを2mm間隔で形成し、その各マークの横移動量（位置ずれ量）を測定した。その結果を三次元プロットしたものを図10に示す。この図10の結果から、マークの横移動量が、 $-0.09\mu\text{m}$ ～ $-0.03\mu\text{m}$ の範囲内にあり、かつ露光ショット内において不規則ではあるが連続的な分布を持っていることが観察される。

【0072】

また図10に示した計測を複数のショットについて行なった結果を各フィールドポイントについて平均したものを図11に示す。図11の結果より、マークの横移動量は、スキヤン方向にはほぼ一定で、スキヤン方向に直交する方向（スリット方向）に大きく変動するような分布が観察される。これは、複数のショットを平均することで、各ショットにおいてランダムであるウェハ表面の凹凸が平均化により消滅し、本方法での計測マーク形成のフォーカスの分布（＝像面）が計測されているということである。

【0073】

図9から求められるz検出感度（ $\Delta x / \Delta z$ ）は $\sim 25\text{nm} / 100\text{nm}$ であり、図11から求められる横移動量のレンジ（ Δx ）は $\sim 60\text{nm}$ であることから、この計測パターン形成の像面レンジ（ Δz ）は $\sim 240\text{nm}$ であることがわかる。

【0074】

また、従来の位相シフトフォーカスモニタ方法のように位相シフトマスクを用い、フォーカスを意図的にずらして露光をしたときに、そのフォーカスに対してパターンの横移動量がどのように変化するかを調べた。

【0075】

なお上記の測定にあたり、位相シフトマスクとしては、クロム（Cr）膜よりなる遮光膜を2つの光透過部で挟み、一方の光透過部には位相を 90° シフトさせる位相シフタを設け、他方の光透過部には位相シフタを設けない構成のものを用いた。2つの光透過部の幅をそれぞれ $5.0\mu\text{m}$ とし、遮光膜の幅を $0.1\mu\text{m}$

mとした。また、上記の測定にあたっては、NAを0.68、 σ を0.3とした光学条件で結像を行なった。その結果を図12に示す。

【0076】

図12の結果より、0.3 μ mのデフォーカスで横移動量が ~ 40 nmとなり、このことからz検出感度($\Delta x / \Delta z$)が ~ 14 nm/ 100μ mであることがわかる。ただし、重ね合わせ検査マークでは参照パターンが逆方向に移動するように位相配置されるため、z検出感度は2倍の ~ 30 nm/ 100μ mとなる。

【0077】

このことより、本実施の形態では、従来の位相シフトフォーカスモニタ方法と同等のz検出感度を得られていることがわかる。

【0078】

また、本実施の形態の方法では、従来例のように特殊な形状のフォトマスクを用いる必要がないため、安価にフォーカスモニタを行なうこともできる。

【0079】

以上より、本実施の形態のフォーカスモニタ方法では、高精度かつ安価にフォーカスモニタを行なうことが可能である。

【0080】

(実施の形態2)

本実施の形態では、実施の形態1で説明した2回の露光のうち、1回目の露光は、照明アパチャーとして図13に示すように輪帯照明絞りの子午線を境界とした一方側半分を隠した絞り14Bを用いて行なわれる。これにより、1回目の露光は、非テレセントリックな照明により行なわれる。また2回目の露光においては、照明アパチャーとして図14に示すように輪帯照明絞りの子午線を境界とした他方側半分を隠した絞り14Cを用いて行なわれる。これにより、2回目の露光も、非テレセントリックな照明により行なわれる。

【0081】

上記2回の露光の後にフォトリソトを現像することにより二重ボックス型のレジストパターンが形成される。この二重ボックス型のレジストパターンの外側

ボックスパターンと内側ボックスパターンとの相対的な移動を計測することにより、実施の形態 1 と同様に、ベストフォーカスを求めることができる。

【0082】

なお、これ以外のフォーカスモニタ方法およびフォーカスモニタ用装置については、上述した実施の形態 1 とほぼ同じであるため、その説明は省略する。

【0083】

本実施の形態では、1 回目の露光に用いられる照明と 2 回目の露光に用いられる照明とが、互いに軸対称であるため、二重ボックス型のマークパターンをなす外側ボックスパターンと内側ボックスパターンは、フォーカス位置に対して相互に逆方向に移動することになる。これにより、本実施の形態では、外側ボックスパターンと内側ボックスパターンとの相対ずれ量が実施の形態 1 の場合と比べて 2 倍の大きさになるため、2 倍の z 検出感度を得ることができる。

【0084】

また、本方法の計測パターンの像面は、常用照明による像面であることが理論的に明らかである。このため、本方法により求めたウェハ表面の凸凹（像面を含めた）は、実転写における像面とウェハ面の不一致を表わすことになり、実用上有用なデータが得られることになる。

【0085】

なお、上記においては、輪帯照明絞りの片側半分を隠した絞り 14 B、14 C を用いた場合について説明したが、照明アパチャーはこれに限定されるものではない。たとえば、図 15 に示すように円形照明絞りの子午面を境界とした一方側半分を隠した絞り 14 D を用いて 1 回目の露光が行なわれ、その後に図 16 に示すような円形照明絞りの子午線を境界とした他方側半分を隠した絞り 14 E を用いて 2 回目の露光が行なわれてもよい。

【0086】

また、図 17 に示すように 4 重極照明絞りの子午線を境界とした一方側半分を隠した絞り 14 F を用いて 1 回目の露光が行なわれ、その後に図 18 に示すように 4 重極照明絞りの子午線を境界とした他方側半分を隠した絞り 14 G を用いて 2 回目の露光が行なわれてもよい。

【 0 0 8 7 】

なお、上記の実施の形態 1 および 2 においては、照明アパチャーとして絞りを
用いた場合について説明したが、照明アパチャーは絞りに限定されるものではなく、
フォトマスク以外のレンズや他の光学部材であってもよく、その開口形状（
光の透過部形状）を制御することで非テレセントリックな照明を作ることのでき
るものであれば本発明に適用することは可能である。

【 0 0 8 8 】

なお、実施の形態 1 においては、図 6 に示すようにフォトレジスト 2 1 b に 1
回目の露光をした後に現像せずに 2 回目の露光をする場合について説明したが、
図 6（a）に示す 1 回目の露光を行なった後にフォトレジストを現像し、その現
像後に、図 6（b）に示す 2 回目の露光が行なわれてもよい。この場合、2 回目
の露光後に再度、フォトレジストは現像される。

【 0 0 8 9 】

また、上記の実施の形態 1 または 2 のフォーカスモニタ方法により得られたベ
ストフォーカスでウエハ表面のフォトレジストを露光した後に現像することでパ
ターニングし、そのレジストパターンを用いて下層の膜にエッチング、イオン注
入などの処理を施すことにより精度良く所望の半導体装置を製造することができ
る。

【 0 0 9 0 】

今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではない
と考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて特許請求の範
囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更
が含まれることが意図される。

【 0 0 9 1 】

【発明の効果】

本発明のフォーカスモニタ方法では、非テレセントリックな照明をフォーカス
モニタに照明することで、結像面を光軸方向に移動したときに光軸と直角な方向
にフォトマスクのパターンの像が移動する特性を発現させるものである。この非
テレセントリックな照明は、照明アパチャーの開口形状を制御することで容易に

得ることができるため、フォトマスクに特殊な構成を用いる必要はない。よって、安価でかつ精度の高いフォーカスモニタが可能となる。

【0092】

上記フォーカスモニタ方法において好ましくは、フォトレジストに、外側ボックスパターンと内側ボックスパターンとを有する二重ボックス型のマークパターンが転写され、フォトレジストに転写された外側ボックスパターンと内側ボックスパターンとの相互の位置ずれを検出することによりフォーカスモニタを行なわれる。このように二重ボックス型のマークパターンを用いることで、結像面内の位置ずれからフォーカスずれを検出することができる。

【0093】

上記のフォーカスモニタ方法において好ましくは、外側ボックスパターンおよび内側ボックスパターンの少なくともいずれかの露光に、非テレセントリックな照明が用いられる。これにより、フォーカスがずれたときに結像面内でパターンの像の位置ずれが起こるため、フォーカスずれを検出することができる。

【0094】

上記のフォーカスモニタ方法において好ましくは、外側ボックスパターンおよび内側ボックスパターンの双方の露光に非テレセントリックな照明が用いられ、外側ボックスパターンの露光時には、子午面を境界として一方側にのみ開口を有する第1の照明アパチャーが用いられ、内側ボックスパターンの露光時には、子午面を境界として他方側にのみ開口を有する第2の照明アパチャーが用いられる。これにより、フォーカスがずれたときに外側ボックスパターンの像と内側ボックスパターンの像とが互いに逆方向に移動するため、検出感度が向上する。

【0095】

上記のフォーカスモニタ方法において好ましくは、第1の照明アパチャーには、円形照明絞り、輪帯照明絞りおよび4重極照明絞りのいずれか1つであって、子午面を境界として一方側にのみ開口を残した絞りが用いられる。第2の照明アパチャーには、円形照明絞り、輪帯照明絞りおよび4重極照明絞りのいずれか1つであって、子午面を境界として他方側にのみ開口を残した絞りが用いられる。これにより、照明アパチャーとして各種絞りをを用いることができる。

【0096】

上記のフォーカスモニタ方法において好ましくは、外側ボックスパターンおよび内側ボックスパターンのいずれか一方をフォトレジストに露光する第1の露光工程と、外側ボックスパターンおよび内側ボックスパターンのいずれか他方をフォトレジストに露光する第2の露光工程と、第1および第2の露光工程後にフォトレジストを現像する工程とを備えられている。このように二重露光した後に現像して二重ボックス型のマークパターンを形成することができる。

【0097】

上記のフォーカスモニタ方法において好ましくは、外側ボックスパターンおよび内側ボックスパターンのいずれか一方をフォトレジストに露光する第1の露光工程と、第1の露光工程後にフォトレジストを現像する第1の現像工程と、第1の現像工程後に外側ボックスパターンおよび内側ボックスパターンのいずれか他方をフォトレジストに露光する第2の露光工程と、第2の露光工程後にフォトレジストを現像する第2の現像工程とが備えられている。このように露光と現像とを2回繰返すことにより二重ボックス型のマークパターンを形成することができる。

【0098】

本発明のフォーカスモニタ用装置では、非テレセントリックな照明をフォトマスクに照明することで、結像面を光軸方向に移動したときに光軸と直角な方向にパターンの像が移動するような特性を発現するよう構成されている。この非テレセントリックな照明は、照明アパチャーの開口形状を制御することで容易に得ることができるため、フォトマスクに特殊な構成を用いる必要はない。よって、安価でかつ精度の高いフォーカスモニタが可能となる。

【0099】

本発明の半導体装置の製造方法は、上記のフォーカスモニタ方法のいずれかを用いることを特徴とするものである。これにより、特殊なフォトマスクを不要とすることで、安価でかつ精度の高いフォーカスモニタが可能となるため、安価で、かつ高い精度でパターンを形成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の実施の形態 1 におけるフォーカスモニタ方法を説明するための模式図である。

【図 2】 本発明の実施の形態 1 におけるフォーカスモニタ方法を実施するためのフォーカスモニタ用装置の構成を概略的に示す図である。

【図 3】 図 2 のフォーカスモニタ用装置に用いられる照明アパチャーの平面図である。

【図 4】 本発明の実施の形態 1 におけるフォーカスモニタ方法の 1 回目の露光に用いられるフォトマスクのパターン形状を示す平面図である。

【図 5】 本発明の実施の形態 1 におけるフォーカスモニタ方法の 2 回目の露光に用いられるフォトマスクのパターン形状を示す平面図である。

【図 6】 本発明の実施の形態 1 におけるフォーカスモニタ方法での露光工程を説明するための図である。

【図 7】 本発明の実施の形態 1 におけるフォーカスモニタ方法で得られる二重ボックス型のレジストパターンを示す断面図および平面図である。

【図 8】 本発明の実施の形態 1 におけるフォーカスモニタ方法の 1 回目の露光におけるフォーカスと横移動量との関係を示す図である。

【図 9】 各フィールドポイントにおけるフォーカスと横移動量との関係を示す図である。

【図 10】 各フィールドポイントにおける横移動量を示す図である。

【図 11】 各フィールドポイントにおける横移動量について複数のショットを平均化した図である。

【図 12】 位相フォーカスモニタの暗線のフォーカスによる移動を示す図である。

【図 13】 本発明の実施の形態 2 におけるフォーカスモニタ方法の 1 回目露光に用いられる照明アパチャーの形状を示す図である。

【図 14】 本発明の実施の形態 2 におけるフォーカスモニタ方法の 2 回目露光に用いられる照明アパチャーの形状を示す図である。

【図 15】 本発明の実施の形態 2 におけるフォーカスモニタ方法の 1 回目露光に用いる他の照明アパチャーの構成を示す図である。

【図 1 6】 本発明の実施の形態 2 におけるフォーカスモニタ方法の 2 回目露光に用いる他の照明アパチャーの構成を示す図である。

【図 1 7】 本発明の実施の形態 2 におけるフォーカスモニタ方法の 1 回目露光に用いるさらに他の照明アパチャーの構成を示す図である。

【図 1 8】 本発明の実施の形態 2 におけるフォーカスモニタ方法の 2 回目露光に用いるさらに他の照明アパチャーの形状を示す図である。

【図 1 9】 従来の位相シフトフォーカスモニタ方法を説明するための図である。

【図 2 0】 位相フォーカスモニタに用いられるフォトマスクの構成を示す図である。

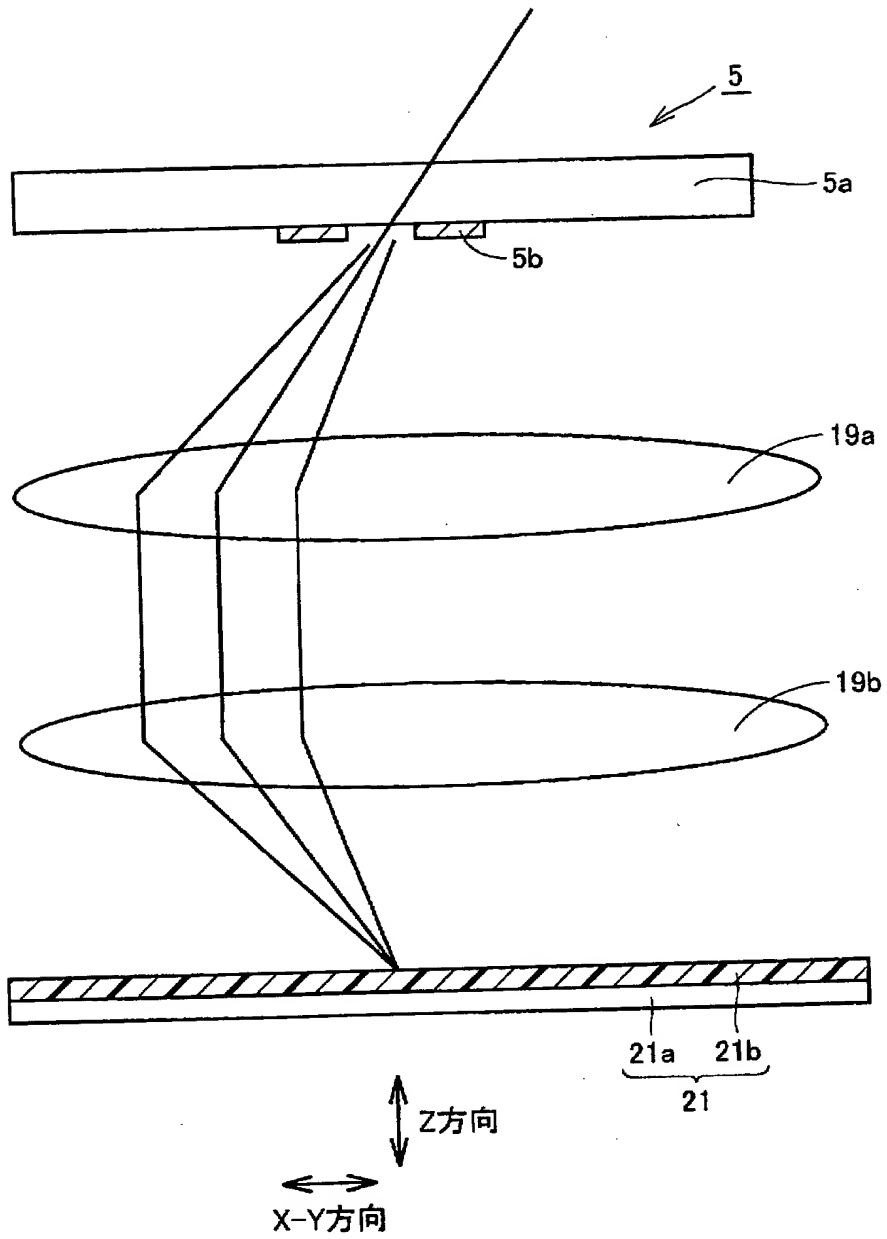
【図 2 1】 特開平 6 - 1 2 0 1 1 6 号公報に開示されたフォーカスモニタ方法に用いられるフォトマスクの構成を示す概略断面図である。

【符号の説明】

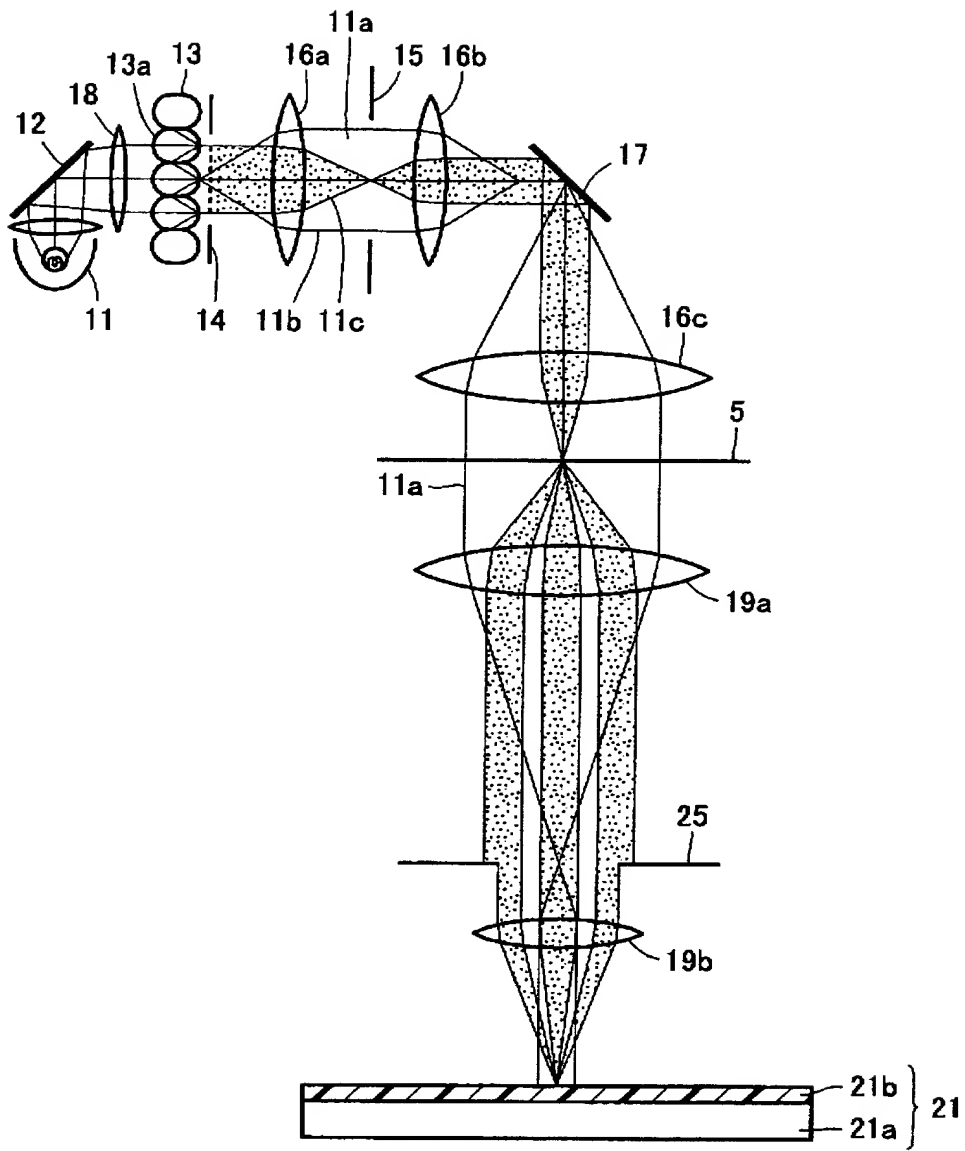
5 フォトマスク、5 A フォトマスク、5 B フォトマスク、5 a₂, 5 b₂
遮光パターン、5 a₁, 5 b₁ 透明基板、1 1 水銀ランプ、1 2 反射鏡、
1 3 フライアイレンズ、1 3 a フライアイ構成レンズ、1 4 A, 1 4 B, 1
4 C, 1 4 D, 1 4 E, 1 4 F, 1 4 G 照明アパチャー、1 4 a 開口、1 6
a, 1 6 b, 1 6 c 集光レンズ、1 7 反射鏡、1 8 集光レンズ、1 9 a
投影レンズ、2 1 ウェハ、2 1 a 半導体基板、2 1 b フォトレジスト、2
1 b₁ 外側ボックスパターン、2 1 b₂ 内側ボックスパターン。

【書類名】 図面

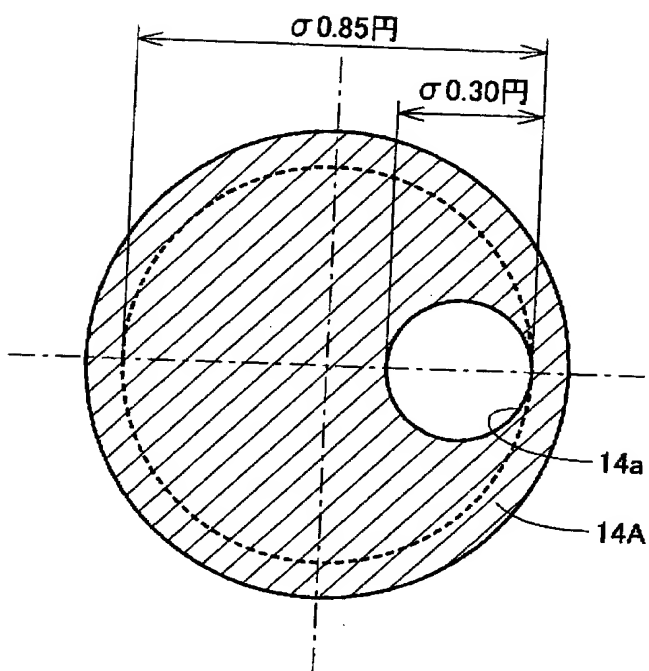
【図1】



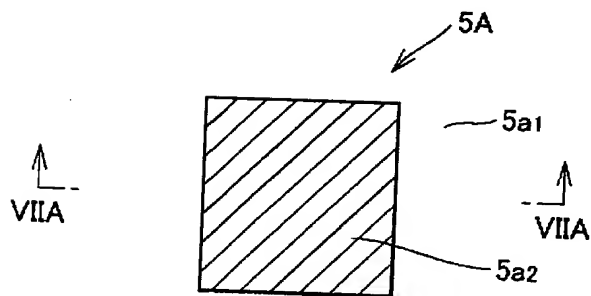
【图 2】



【図3】

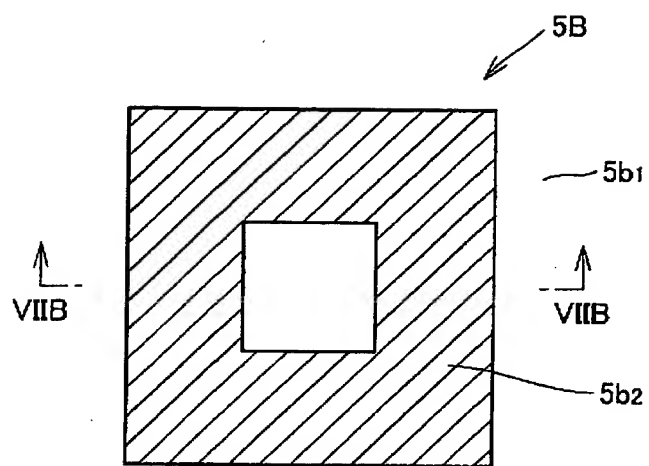


【図4】



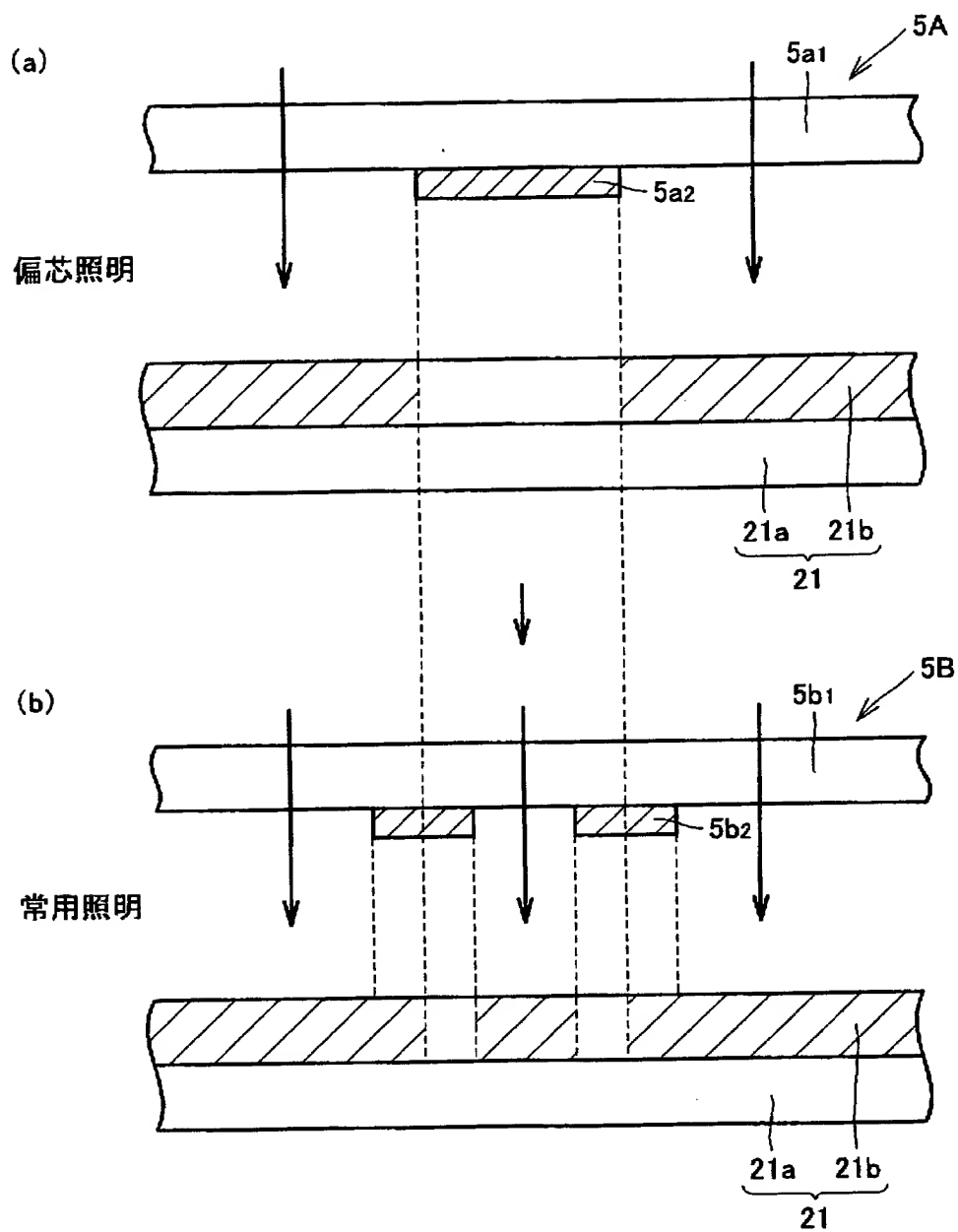
一回目露光
(偏芯照明)

【図 5】

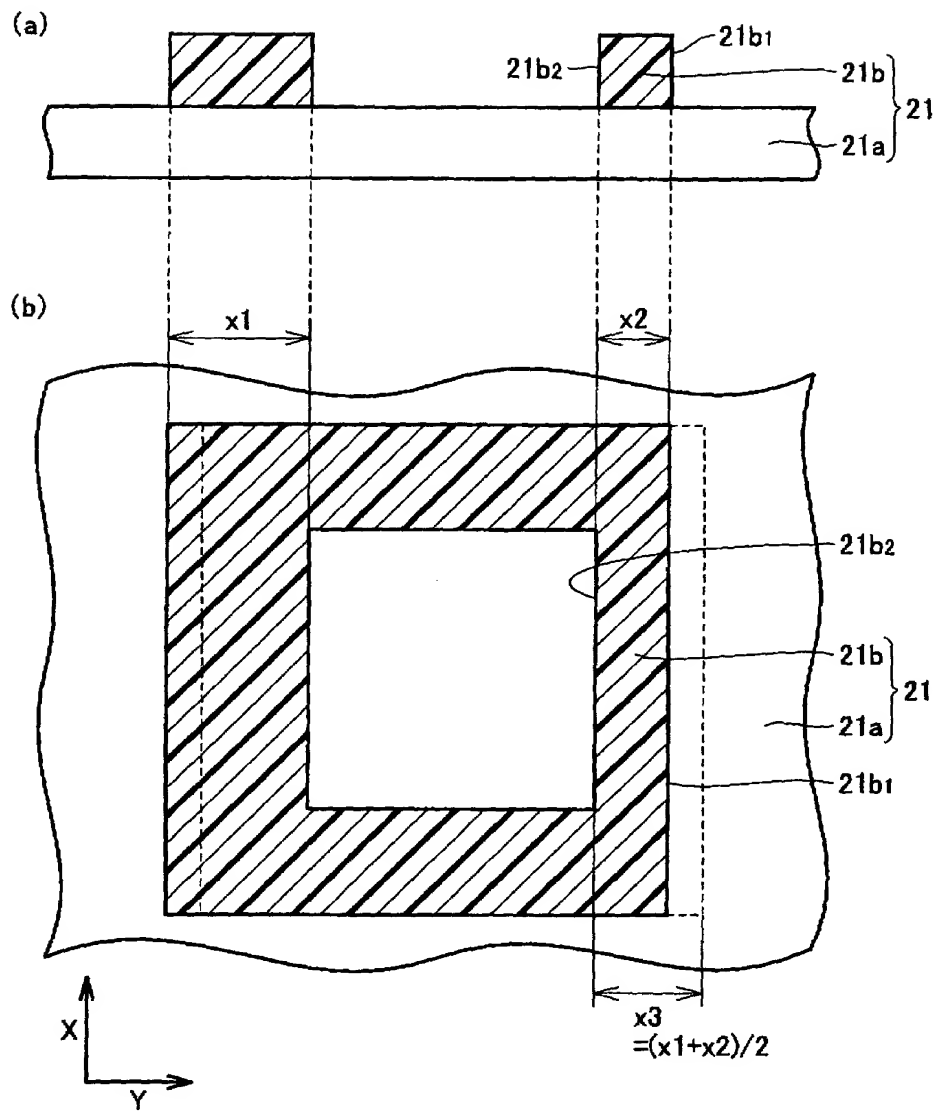


二回目露光
(常用照明)

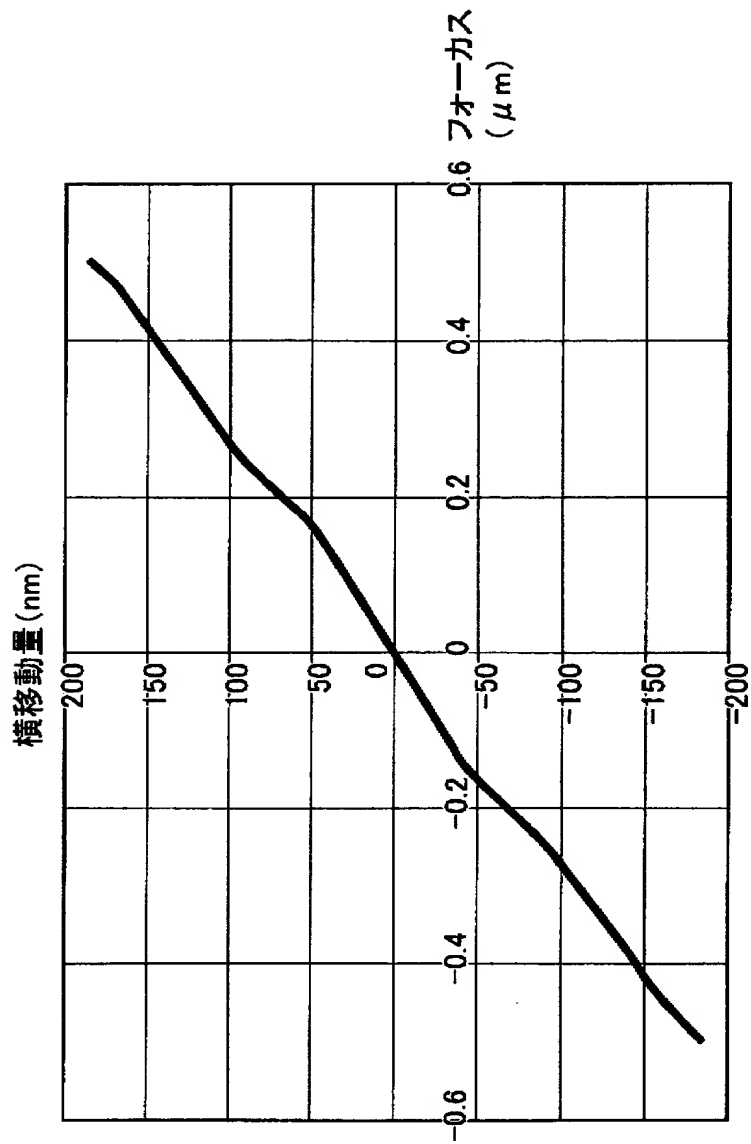
【图 6】



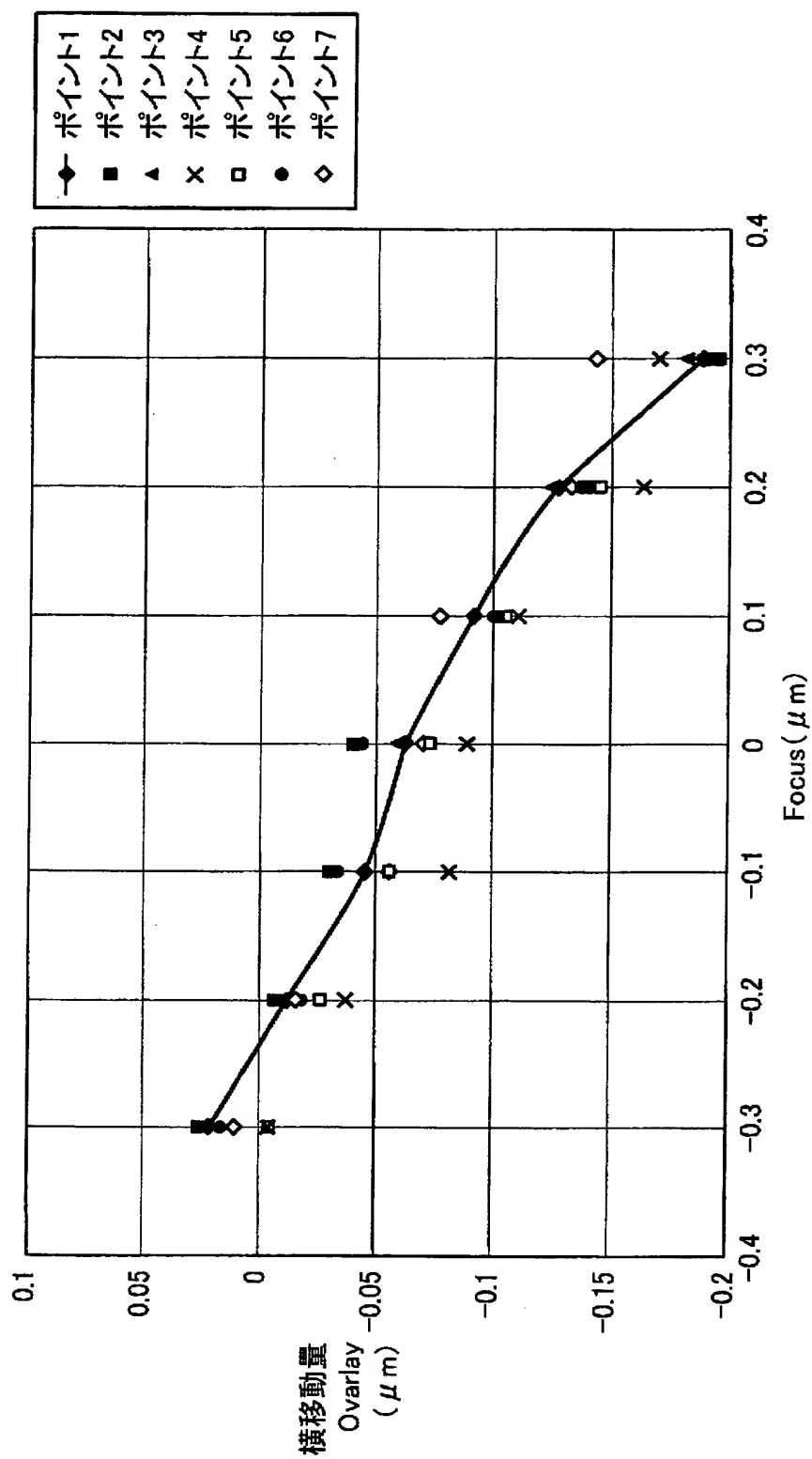
【図 7】



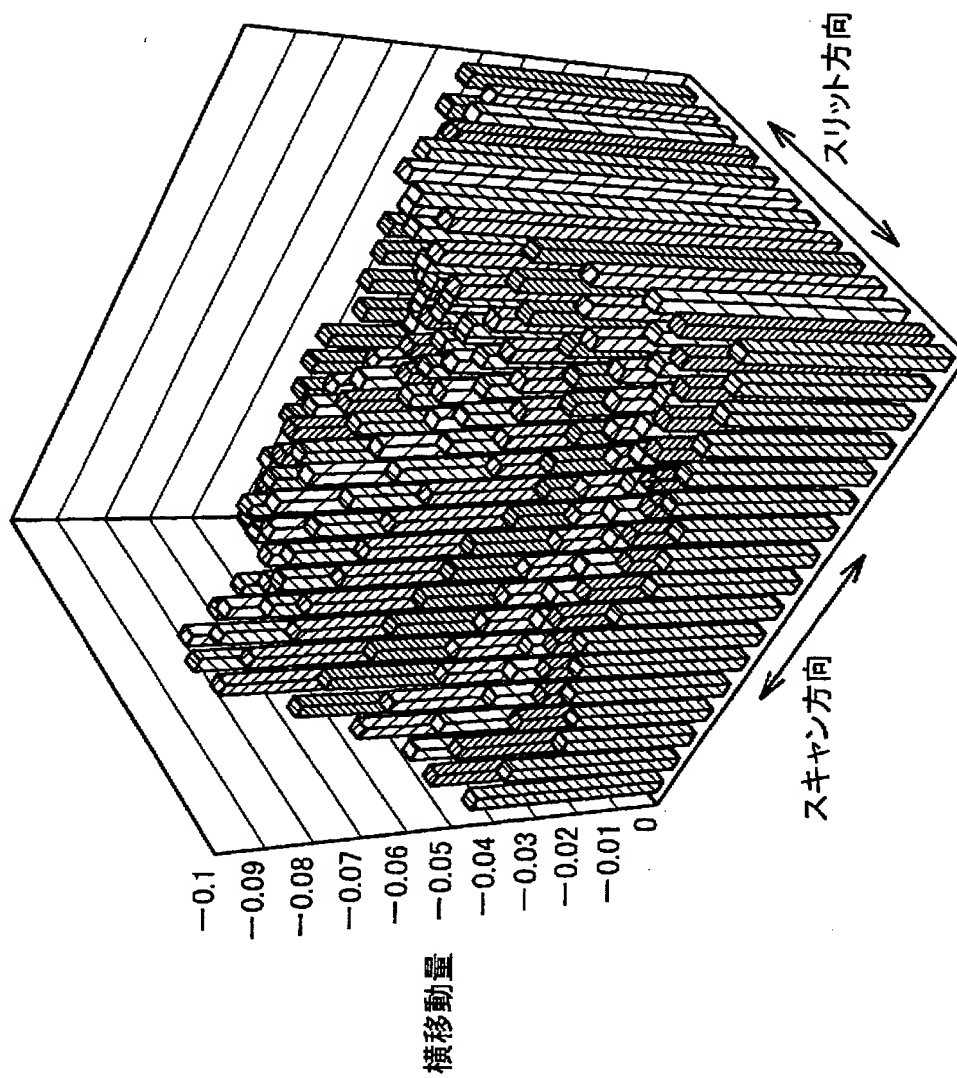
【図 8】



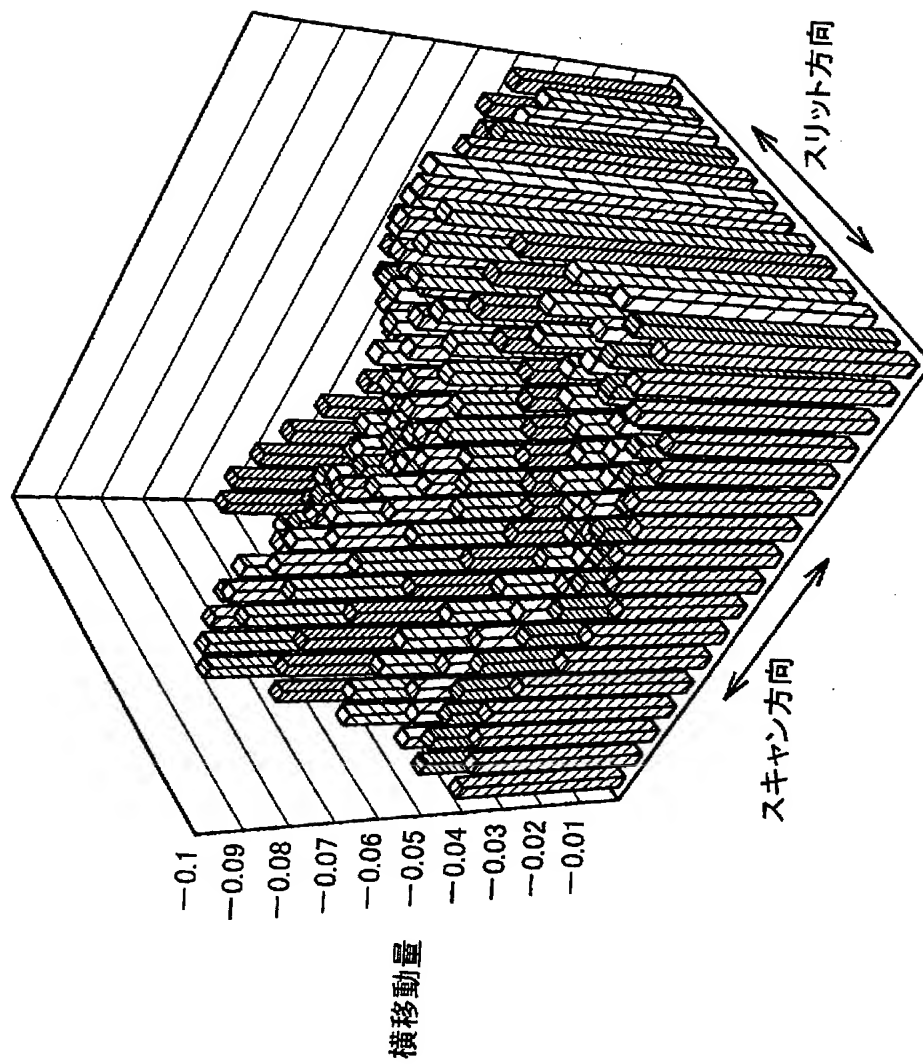
【図9】



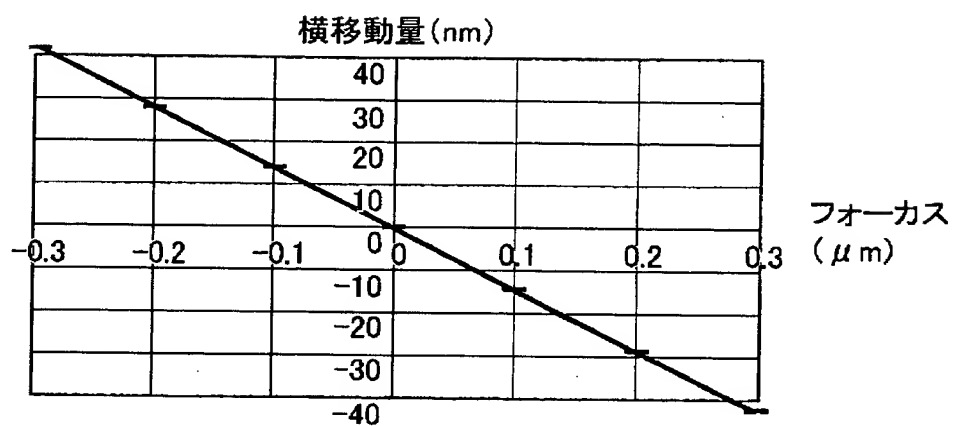
【図10】



【図11】

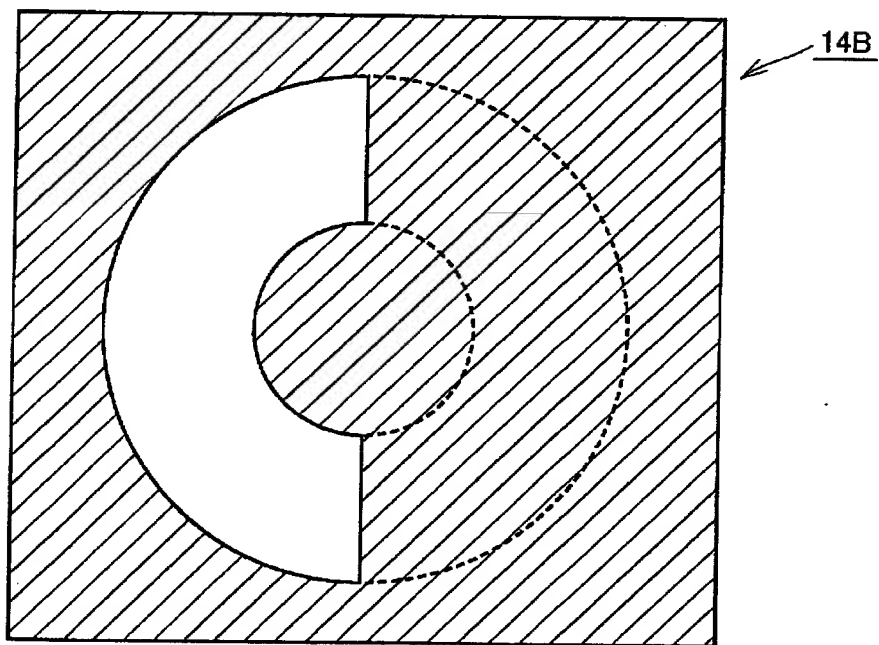


【図 12】

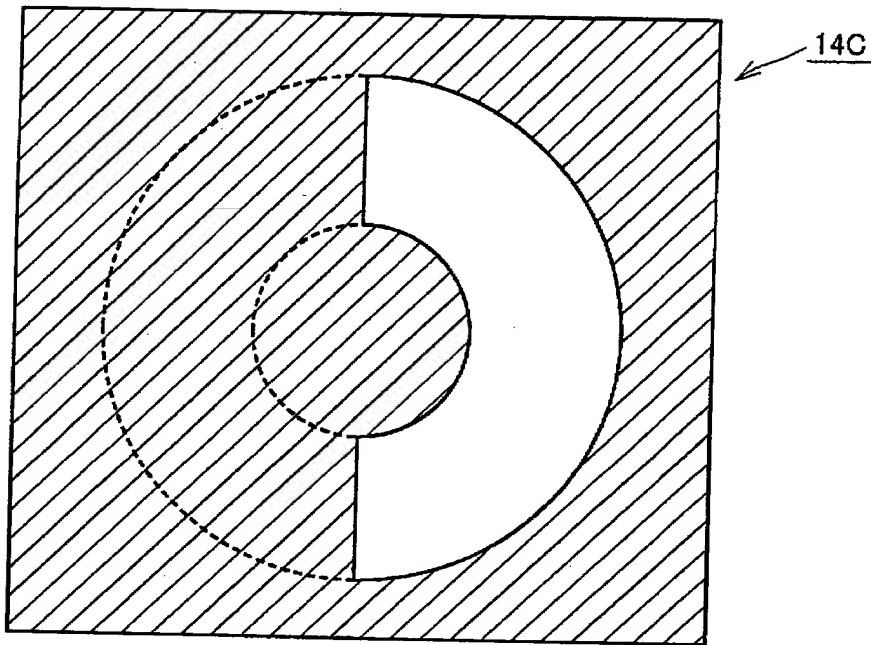


暗線のフォーカスによる移動、マスク (Cr0.1 μm 、シフト90° 50 μm)、NA0.68、 σ 0.30

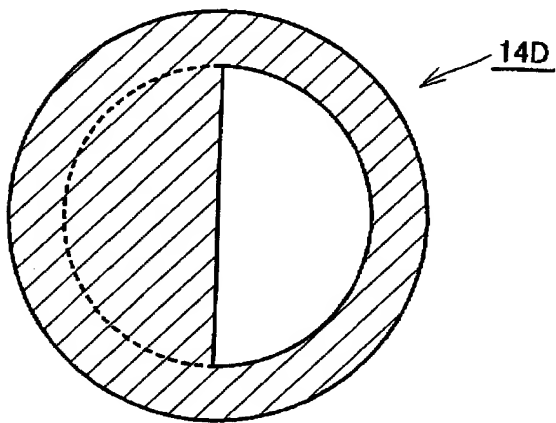
【図 13】



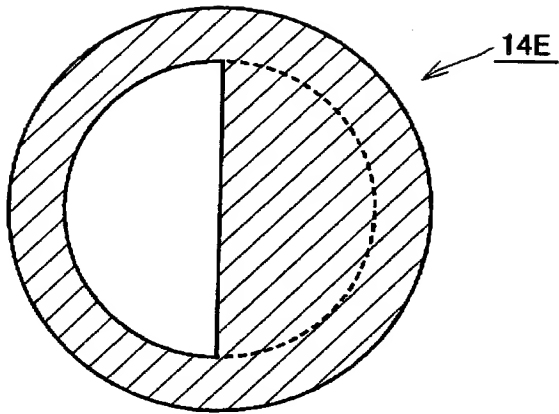
【図14】



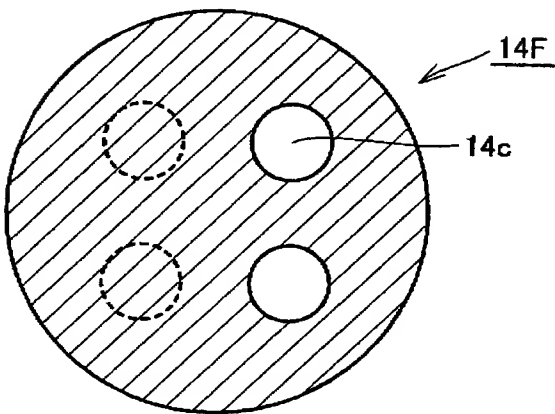
【図15】



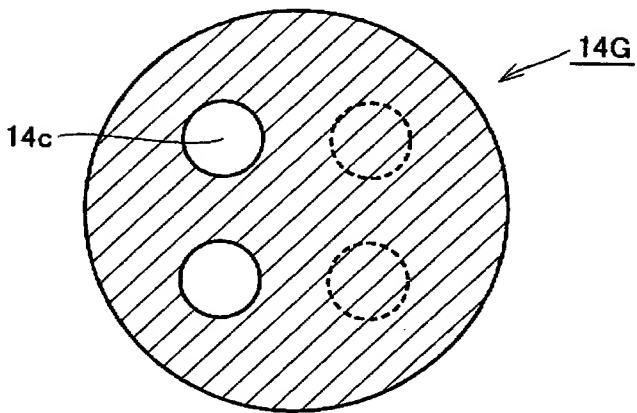
【図 1 6】



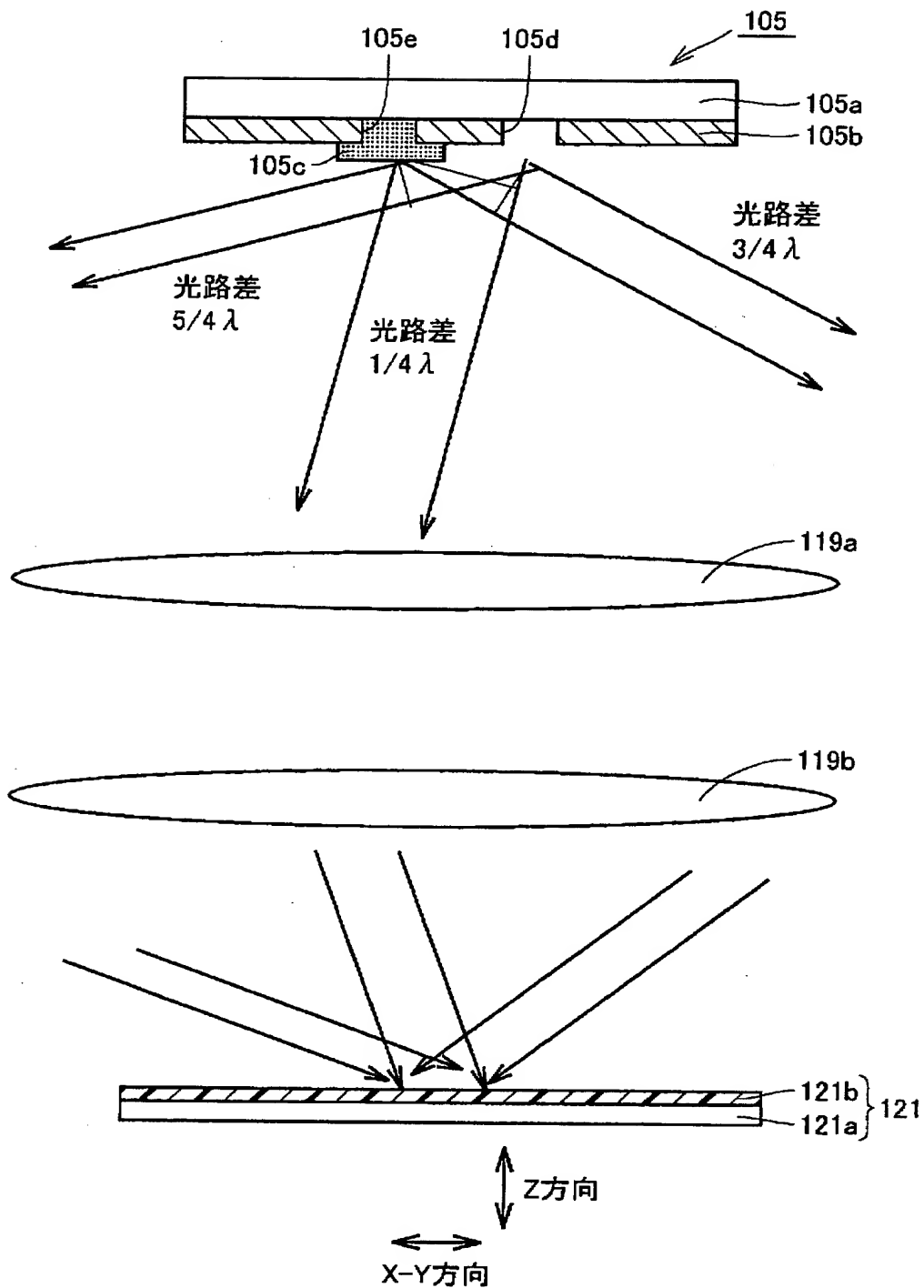
【図 1 7】



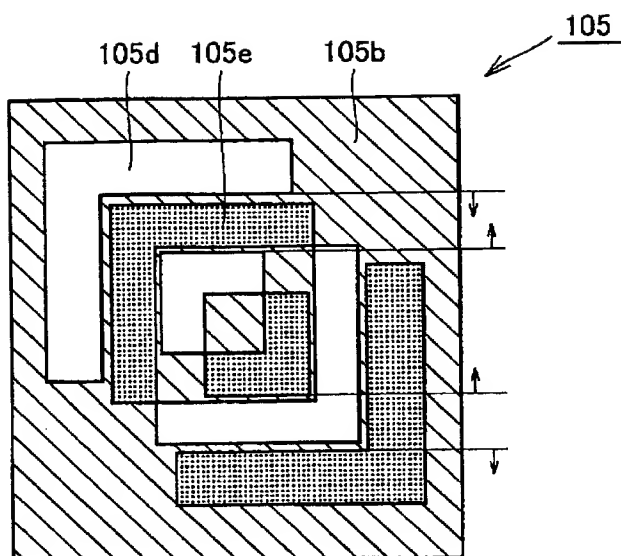
【図 1 8】



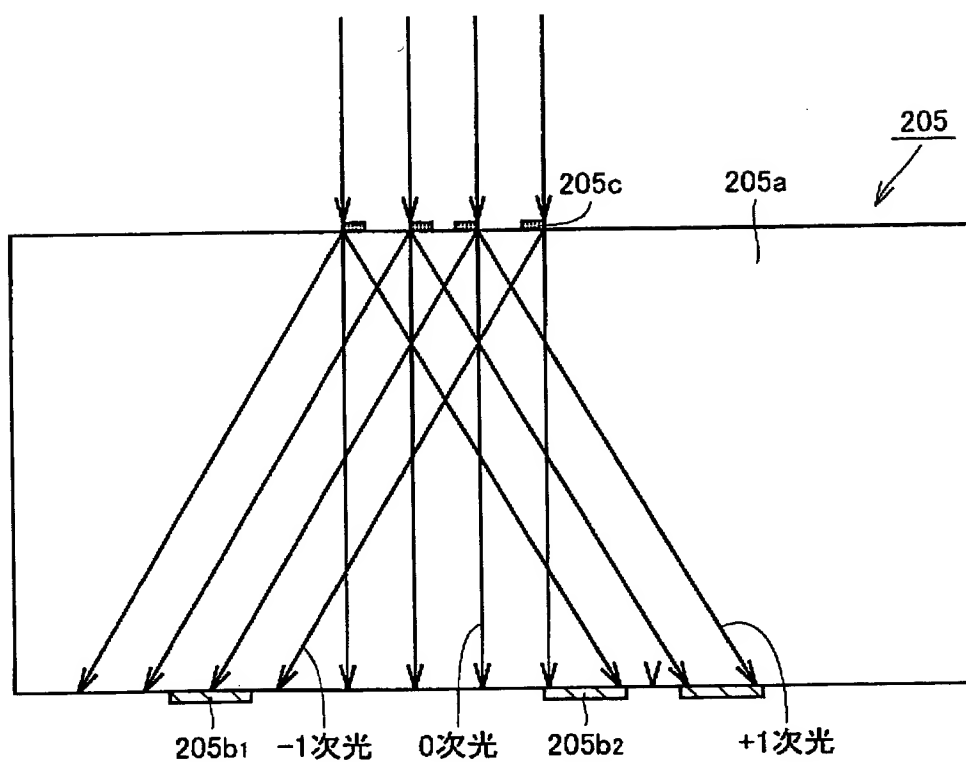
【図 19】



【図 20】



【図 21】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 特殊なフォトマスクを不要とすることで安価でかつ精度の高いフォーカスモニタ方法およびフォーカスモニタ用装置ならびに半導体装置の製造方法を提供する。

【解決手段】 照明アパチャー開口形状を制御することで得られた非テレセントリックな照明をフォトマスク 5 に照射し、その非テレセントリックな照明により形成されたフォトマスク 5 のパターンの像が、結像面を光軸方向に移動したときに光軸と直角な方向に移動する特性を利用してフォーカスモニタが行なわれる。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000006013]

1. 変更年月日	1990年 8月24日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都千代田区丸の内2丁目2番3号
氏 名	三菱電機株式会社